

中心视力下降患者优选注视点应用的研究进展

邓宇, 王建伟, 刘自强, 李媛媛, 侯小玉, 接传红

中国中医科学院眼科医院 眼科, 北京 100040

摘要: 中心视力下降是导致老年性黄斑变性等疾病患者对比敏感度、色觉等视功能下降的主要原因。研究发现中心视力下降患者在中心凹外视网膜功能相对较好位置可形成新的视觉任务区域, 称之为优选注视点。本文综述了利用微视野仪进行视网膜最佳注视点定位和首选视网膜位点训练的相关文献, 总结了目前的研究现状和不足。本文旨在对中枢性视力丧失患者视力状况的研究进行综述, 为中枢性视力丧失患者视力康复方案的选择提供帮助。

关键词: 中心视力下降; 视觉变化; 优选注视点; 微视野; 优选注视点训练

中图分类号: R774.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3770(2024)02-0150-06

引用格式: 邓宇, 王建伟, 刘自强, 等. 中心视力下降患者优选注视点应用的研究进展[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2024, 38(2):150-155. DENG Yu, WANG Jianwei, LIU Ziqiang, et al. Research progress on the preferred retinal locus in patients with central vision loss[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2024, 38(2):150-155.

Research progress on the preferred retinal locus in patients with central vision loss

DENG Yu, WANG Jianwei, LIU Ziqiang, LI Yuanyuan, HOU Xiaoyu, JIE Chuanhong

Department of Ophthalmology, Eye Hospital China Academy of Traditional Chinese Medical Science, Beijing 100040, China

Abstract: Low central visual acuity is mainly caused by decreases or deficiencies in contrast sensitivity, color vision, and other visual functions in patients with age-related macular degeneration. Studies have found that patients with central visual acuity loss can form a new visual task area, called the preferred retinal locus, at a relatively good position outside the foveal retina. In this paper, relevant articles about the optimal fixation point location and the training of the preferred retinal locus using microvisual field instruments are reviewed, and the current research status and shortcomings are summarized. The purpose of this paper is to review the progress of research on the visual condition of patients with central vision loss and to provide information that will aid the selection of visual rehabilitation programs for such patients.

Key words: Central visual loss; Visual changes; Preferred retinal locus; Fundus-controlled perimetry; Preferred retinal locus training

在老年性黄斑变性(age-related macular degeneration, AMD)、黄斑裂孔、Stargardt 病等疾病中, 中心视力下降(central vision loss, CVL)是导致患者视觉功能和固视稳定性下降, 对比敏感度、色觉、光敏感度和立体视觉降低, 阅读和生活能力受到限制的主要原因^[1-5]。随着病程的进展中心视力持续降低, 进一步限制了患者视频浏览和阅读等最基本的视觉行为, 导致患者生活质量严重下降^[6-7]。CVL 患者可在旁中心凹形成优选注视点(preferred retinal locus, PRL)替代受损的黄斑区^[8]。临床工作中使用微视野仪测量优选注视点的位置, 并对患者进行 PRL 训练以提高固视稳定性等视觉功能。黄斑中心凹是视网膜视觉最敏感的部分, CVL 患者视网

膜如何执行视觉任务? CVL 患者如何进行视觉康复? 针对以上问题, 本文收集微视野检查对 CVL 患者 PRL 及 PRL 训练的相关文献, 综述 CVL 患者视觉状态的研究进展, 进一步探究 PRL 训练对 CVL 患者视力、阅读速度和固视稳定性等指标的作用, 以期协助制定 CVL 患者视觉康复的新方案。

1 PRL 的定义和检测

健康人通过中心凹扫视目标执行日常任务, 如阅读、散步、面部识别等。AMD 等疾病患者黄斑区功能受损, 视力、对比敏感度、立体视觉等视功能明显降低^[9]。随着病情进展患者可发展为中心视野缺失, 此时视野被限制到非中心凹区域, 采用非中心

收稿日期: 2022-10-26

基金课题: 北京市自然科学基金面上项目(7182187); 首都卫生发展科研专项(2020-2-4182, 2020-3-4184); 北京市中医药科技发展资金项目(JCZX-2020-14); 中国中医科学院科技创新工程(CI2021A02604); 中国中医科学院眼科医院中央高水平中医医院项目(GSP5-24)

通信作者: 接传红。E-mail: jiechuanhong@yahoo.com.cn

凹区域扫视和固视可补偿中心凹输入信息的缺失(图 1),这一区域称为 PRL,其定义为经过反复特定视觉目标或任务训练后而形成的一个或多个功能性视网膜的特定区域,同样具有注意力和眼动的调节能力^[10]。

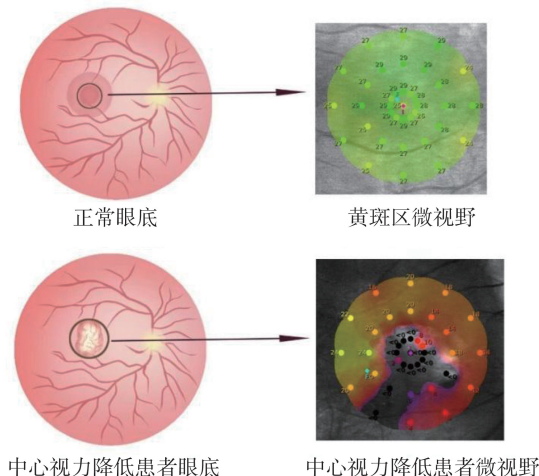


图 1 CVL 患者微视野检查结果图
Figure 1 Microperimetry results in CVL

临床工作中可应用微视野设备进行 PRL 定位。扫描激光检眼镜 (scanning laser ophthalmoscope, SLO) 是第一款可执行微视野检查及 PRL 训练的设备^[11],但受限于该设备软件设计和实际操作的复杂性,SLO 尚无法满足临床 PRL 训练使用的需要^[12]。MP-1 (Micro Perimetre-1) 是第一款使用红外眼底摄像的微视野检查设备^[13],而后出现的 MP-2^[14]、MP-3^[15]、黄斑完整性评估 (macular integrity assessment device, MAIA)^[16] 设备红外眼底摄像功能更强、分辨率更清晰,已被大量应用于 CVL 疾病检测、PRL 训练及各项与低视力康复有关的临床试验中^[17]。MAIA 等设备的 PRL 训练模式可在 PRL 处于合适位置但不够稳定或 PRL 不在合适位置时增强固定稳定性,通过训练识别 PRL 并将其重新定位到具有更高视网膜敏感性的位点^[18]。

2 PRL 的形成及位置

正常人眼的注视点位于黄斑中心凹,当 AMD 等疾病导致中心视野丧失、患者阅读等生活能力受到限制时,人眼视网膜会选择旁中心凹的一个或多个功能较好的位置行视觉任务,这就是自发形成的 PRL^[19]。PRL 的形成受多重因素影响,在没有外界干预的情况下,PRL 的形成需要很长的时间^[20]。MAIA 系统可以测量出两个 PRL 的位置:PRLi (preferred retinal locus initial) 和 PRLf (preferred retinal locus final),分别表示测试最初 10 秒的注视点的质

心(注视点的加权平均位置)和检查期间所有测量到注视点的质心^[21]。在固视稳定性较差的患者中,PRLi 和 PRLf 常呈分离状态^[22]。

PRL 多位于中心暗点的边缘视网膜功能相对较好的位置^[23]。多数研究认为 PRL 多出现在黄斑中心凹的上方或鼻侧^[24-25]。Kisilevsky 等^[26]研究发现 AMD 和 Stargardt 病患者视力较好眼的 PRL 多位于视野的下方和左侧,视力较差眼的 PRL 位置无明显规律。Silvestri 等^[27]发现 PRL 在视力较好眼中常位于黄斑上方或下方,而在视力较差眼中 PRL 多位于颞侧或鼻侧。Erbezci 等^[28]发现 PRL 多位于患者的黄斑中心凹鼻侧或左视野。Verdina 等^[29]发现 Stargardt 病患者 PRL 多位于黄斑萎缩区上缘。Altinbay 等^[30]观察了以英语为阅读语言的 63 例 AMD 患者的 PRL 位置,发现 AMD 患者 PRL 常位于中心凹的鼻侧和上方。Denniss 等^[24]认为 PRL 多位于中心凹。总的来说针对 PRL 的具体定位,目前各项研究之间没有统一的结论,各个研究结果之间存在矛盾,有待未来进一步研究。

有关视网膜 PRL 位置自发选择的原理和过程仍有待阐明,Cheung 等^[31]提出了 3 种可能的机制:功能驱动、视网膜行为驱动和视网膜拓扑驱动。功能驱动理论认为 PRL 的选择与视觉任务的性质相关。在阅读等视觉行为的过程中,人们通常更注意下方的内容,因此下方视野较上方视野更为重要,这可能是 PRL 更倾向于在中心凹上方形成的原因^[32]。对于使用英语等从左向右阅读语言的人群,右侧视野较左侧视野更为重要^[33]。Farzaneh 等^[34]观察了 35 例讲波斯语的 AMD 患者的 PRL,发现其多位于中心暗点的下方和左侧视野,作者认为这可能与波斯语的阅读习惯为从右向左有关。视网膜行为驱动理论认为 PRL 的形成可能是视网膜功能点位重组的结果。视网膜拓扑驱动理论认为 PRL 的形成是视网膜注视点自发的重组形成。在 PRL 形成的过程中往往有多重机制共同发挥作用,PRL 的位置也处于动态的变化之中。Tarita-Nistor 等^[35]发现在 CVL 的患者中,视力较好眼的 PRL 位置在由单眼视觉换为双眼视觉时不会发生位移,而较差眼 PRL 的位置会发生改变。Schönbach 等^[36]观察了 238 例 Stargardt 病患者 1 年间 PRL 位置的变化,发现 Stargardt 病患者 PRL 位置无明显变化。Tarita-Nistor 等^[37]观察 51 例双眼 CVL 的患者,结果发现随病程的增加,患者双眼 PRL 均呈逐渐远离中心暗点的趋势。

3 黄斑 CVL 患者进行视觉康复的必要性

基于 CVL 患者视觉功能最好的部位已不可逆的受损,依靠其他部分视网膜的辅助来挽救残存的视力就成为了一种非常重要的视觉康复手段^[38]。由于中央凹位置的视网膜缺失,患者常常会出现无法正常阅读、写字和看电视等问题,进行 PRL 训练有助于更好地执行视觉任务获得更多的信息。在视觉康复中,通过训练 PRL,可以帮助患者建立新的视觉模式,提高患者重构视觉信号的能力,并且有效地提升了操作视觉任务的能力。此外,通过训练 PRL,患者可以学会更有效的眼球移动方式,提高对物品的抓握能力。应用微视野仪对 CVL 的患者进行 PRL 训练是 AMD 等黄斑疾病患者视觉康复的主要手段^[28]。PRL 形成过程具有复杂性,因此患者自发形成的 PRL 位置可能并不是视网膜功能最敏感的位置^[39],视网膜功能未得到充分地利用。在日常生活中患者常无法正确地使用 PRL 阅读^[40]。近年来越来越多的研究人员将 PRL 训练作为低视力康复的首选方案之一。高效地使用残余视网膜功能,尽可能让患者独立生活,提高生活质量是视觉康复的主要目的。对阅读能力的改善是低视力康复的重点关注内容^[41]。中心视力受损时,患者阅读能力明显下降,严重影响患者的生活质量^[42]。研究表明,应用微视野计对 CVL 的黄斑疾病患者进行 PRL 训练可提高患者的最佳矫正视力、固视稳定性和阅读能力^[43],并保持稳定^[44]。Morales 等^[45]报道了 1 例卵黄样黄斑营养不良的患者通过 MAIA 视野仪进行 PRL 训练,患者的阅读速度等视功能指标明显提高。Tita-Nistor 等^[46]使用 MP-1 对老年性黄斑变性的患者进行了 PRL 训练,结果显示 PRL 训练可以提高患者阅读速度和视网膜平均敏感度。Sahli 等^[47]对 CVL 的患者进行了 10 次 PRL 训练,结果表明 PRL 训练可以提高 AMD、Stargardt 等疾病患者固视稳定性和阅读能力。

4 PRL 训练策略的选择

选择恰当的 PRL 位置对患者阅读能力的提高至关重要^[40]。针对不同的类型的中心视野缺损,可选择的 PRL 训练点位也应不同。当中心暗点面积较大,固视稳定性较差或自发形成的 PRL 距离中心凹较远时,人工选择 1 个更恰当的点位进行 PRL 训练可明显改善 CVL 患者视力情况^[48]。相较于自发形成的 PRL,采用更高敏感度的点作为 PRL 训练点可以达到更好的效果^[49]。Farzaneh 等^[34]对 35 例

AMD 患者进行单眼 PRL 定位及阅读速度检查,发现 PRL 距中心凹距离越近的患者阅读速度更高,阅读敏感度和临界字体大小越低。Silvestri 等^[27]的研究也有相似的结论。不同的训练频率也会影响训练的效果。Altınbay 等^[50]观察了 63 例 AMD 患者 PRL-中心凹距离和固视稳定性及视力的影响,结果表明 PRL 位置与固视稳定性无明显关系。

PRL 训练的频率对康复效果的影响仍有待研究,各个研究之间训练频率有很大差异。Qian 等^[51]前瞻性地纳入了 17 例(17 眼)黄斑疾病导致 CVL 的低视力患者,使用 MP-3 对患者进行每周 2 次,连续 20 周的 PRL 训练,结果发现患者最佳矫正视力、阅读速度等均明显提高。Bozkurt 等^[39]使用 MAIA 设备按每周 8 次,共 8 周的方式进行 PRL 训练,得到了相同的结果。Melillo 等^[52]以每周 1 次的方案对 24 例 Stargardt 病患者进行 PRL 训练,结果显示 PRL 训练明显改善了患者的视觉功能。Barboni 等^[53]采用 3 个月共 12 次的方案进行 PRL 训练,得到了相似的结论。上述各个研究尽管使用的治疗频率和策略都不相同,但都得出了相似的结论。总的来说,PRL 训练最佳的训练方案仍有待进一步探究,目前尚缺乏对不同训练方案进行对比的临床研究。

5 总结和展望

PRL 训练是一种有效可行的针对 CVL 患者的视觉康复方案。通过 PRL 训练患者可以提高视力和固视稳定性,进而提高生活质量。但目前的研究仍存在以下问题:①研究疾病单一。目前研究主要集中于对 AMD 患者,糖尿病黄斑水肿等其他黄斑受累疾病患者 PRL 训练效果需要进行进一步评价。②缺乏随机对照实验。大部分研究并未使用随机方法,多使用自身对照法。③训练方案存在差异。不同研究使用的 PRL 选点方案和训练率等均不相同。④评价指标有待改进。研究中主要以阅读视力、最佳矫正视力和生活质量问卷作为评价指标,其指标的客观性仍有待改进^[54]。何种训练方案是 PRL 训练的最优方案仍然是有待探究的问题。

参考文献:

- [1] Tsai ASH, Gan ATL, Ting DSW, et al. Diabetic macular ischemia: correlation of retinal vasculature changes by optical coherence tomography angiography and functional deficit [J]. *Retina*, 2020, 40(11): 2184-2190. doi: 10.1097/IAE.0000000000002721
- [2] Tsang SH, Sharma T. Stargardt disease [J]. *Adv Exp Med Biol*, 2018, 1085: 139-151. doi: 10.1007/978-3-

- 319-95046-4_27
- [3] Wang JW, Jie CH, Tao YJ, et al. Macular integrity assessment to determine the association between macular microstructure and functional parameters in diabetic macular edema[J]. *Int J Ophthalmol*, 2018, 11(7): 1185-1191. doi: 10.18240/ijo.2018.07.18
- [4] Vujosevic S, Heeren TFC, Florea D, et al. Scotoma Characteristics in macular telangiectasia type 2: MacTel Project Report No. 7-The MacTel Research Group[J]. *Retina*, 2018, Suppl 1: S14-S19. doi: 10.1097/IAE.0000000000001693
- [5] 雷敏,陈婷,艾明. 特发性黄斑前膜患者神经节细胞复合体厚度与黄斑部深浅血流密度比值的相关性研究[J]. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2023, 37(2): 104-113. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.322
LEI Min, CHEN Ting, AI Ming. Investigating the correlation between the macular ganglion cell complex and the ratio of deep and superficial vessel density in patients with idiopathic epiretinal membrane[J]. *Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University*, 2023, 37(2): 104-113. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.322
- [6] Welker SG, Pfau M, Heinemann M, et al. Retest reliability of mesopic and dark-adapted microperimetry in patients with intermediate age-related macular degeneration and age-matched controls[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018, 59(4): AMD152-AMD159. doi: 10.1167/iovs.18-23878
- [7] 杨洪玲. 青光眼患者生活质量评估及相关因素的研究进展[J]. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2016, 30(6): 94-97. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2016.308
YANG Hongling. Research advances on the assessment and influencing factors of glaucoma patients' quality of life.[J]. *Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University*, 2016, 30(6): 94-97. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2016.308
- [8] Sasso P, Silvestri V, Sulfaro M, et al. Perceptual learning in patients with stargardt disease[J]. *Can J Ophthalmol*, 2019, 54(6): 708-716. doi: 10.1016/j.jcjo.2019.03.012
- [9] Curcio CA, McGwin G Jr, Sadda SR, et al. Functionally validated imaging endpoints in the Alabama study on early age-related macular degeneration 2 (ALSTAR2): design and methods[J]. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1): 196. doi: 10.1186/s12886-020-01467-0
- [10] Crossland MD, Engel SA, Legge GE. The preferred retinal locus in macular disease: toward a consensus definition[J]. *Retina*, 2011, 31(10): 2109-2114. doi: 10.1097/IAE.0b013e31820d3fba
- [11] Varano M, Scassa C. Scanning laser ophthalmoscope microperimetry[J]. *Semin Ophthalmol*, 1998, 13(4): 203-209. doi: 10.3109/08820539809056054
- [12] Rohrschneider K, Fendrich T, Becker M, et al. Static fundus perimetry using the scanning laser ophthalmoscope with an automated threshold strategy[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 1995, 233(12): 743-749. doi: 10.1007/BF00184084
- [13] Ferree CE, Rand G. The campimeter-an illuminated perimeter with campimeter features[J]. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 1920, 18: 164-172
- [14] Crossland MD, Luong VA, Rubin GS, et al. Retinal specific measurement of dark-adapted visual function: validation of a modified microperimeter[J]. *BMC Ophthalmol*, 2011, 11: 5. doi: 10.1186/1471-2415-11-5
- [15] Steinberg JS, Saßmannshausen M, Pfau M, et al. Evaluation of two systems for fundus-controlled scotopic and mesopic perimetry in eye with age-related macular degeneration[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2017, 6(4): 7. doi: 10.1167/tvst.6.4.7
- [16] Pfau M, Lindner M, Fleckenstein M, et al. Test-retest reliability of scotopic and mesopic fundus-controlled perimetry using a modified MAIA (Macular Integrity Assessment) in normal eyes[J]. *Ophthalmologica*, 2017, 237(1): 42-54. doi: 10.1159/000453079
- [17] Holz FG, Sadda SR, Busbee B, et al. Efficacy and safety of lampalizumab for geographic atrophy due to age-related macular degeneration: chroma and spectri phase 3 randomized clinical trials[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2018, 136(6): 666-677. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2018.1544
- [18] Altunbay D, İdil ŞA. Current Approaches to Low Vision (Re) Habilitation[J]. *Turk J Ophthalmol*, 2019, 49(3): 154-163. doi: 10.4274/tjo.galenos.2018.53325
- [19] Sunness JS, Applegate CA, Haselwood D, et al. Fixation patterns and reading rates in eyes with central scotomas from advanced atrophic age-related macular degeneration and Stargardt disease[J]. *Ophthalmology*, 1996, 103(9): 1458-1466. doi: 10.1016/s0161-6420(96)30483-1
- [20] Treleaven AJ, Yu D. Training peripheral vision to read: reducing crowding through an adaptive training method[J]. *Vision Res*, 2020, 171: 84-94. doi: 10.1016/j.visres.2018.05.009
- [21] Morales MU, Saker S, Wilde C, et al. Reference clinical database for fixation stability metrics in normal subjects measured with the MAIA microperimeter[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2016, 5(6): 6. doi: 10.1167/tvst.5.6.6
- [22] Morales MU, Saker S, Mehta RL, et al. Preferred retinal locus profile during prolonged fixation attempts[J].

- Can J Ophthalmol, 2013, 48(5): 368-374. doi: 10.1016/j.cjco.2013.05.022
- [23] Satgunam P, Luo G. Does central vision loss impair visual search performance of adults more than children? *Optom Vis Sci*, 2018, 95(5): 443-451. doi: 10.1097/OPX.0000000000001213
- [24] Denniss J, Baggaley HC, Brown GM, et al. Properties of visual field defects around the monocular preferred retinal locus in age-related macular degeneration. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(5): 2652-2658. doi: 10.1167/iovs.16-21086
- [25] Somani S, Markowitz SN. Identification of fixation location with retinal photography in macular degeneration [J]. *Can J Ophthalmol*, 2004, 39(5): 517-520. doi: 10.1016/s0008-4182(04)80141-8
- [26] Kisilevsky E, Tarita-Nistor L, González EG, et al. Characteristics of the preferred retinal loci of better and worse seeing eyes of patients with a central scotoma[J]. *Can J Ophthalmol*, 2016, 51(5): 362-367. doi: 10.1016/j.cjco.2016.01.007
- [27] Silvestri V, Sasso P, Piscopo P, et al. Reading with central vision loss: binocular summation and inhibition [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2020, 40(6): 778-789. doi: 10.1111/opo.12726
- [28] Erbezi M, Ozturk T. Preferred retinal locus locations in age-related macular degeneration [J]. *Retina*, 2018, 38(12): 2372-2378. doi: 10.1097/IAE.0000000000001897
- [29] Verdina T, Greenstein VC, Sodi A, et al. Multimodal analysis of the preferred retinal location and the transition zone in patients with stargardt disease [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2017, 255(7): 1307-1317. doi: 10.1007/s00417-017-3637-6
- [30] Altinbay D, Idil A, Sahli E. How much do clinical and microperimetric findings affect reading speed in low vision patients with age-related macular degeneration? [J] *Curr Eye Res*, 2021, 46(10): 1581-1588. doi: 10.1080/02713683.2021.1896740.
- [31] Cheung SH, Legge GE. Functional and cortical adaptations to central vision loss [J]. *Vis Neurosci*, 2005, 22(2): 187-201. doi: 10.1017/S0952523805222071
- [32] Farzaneh A, Riazzi A, Khabazkhoob M, et al. Location and stability of the preferred retinal locus in native Persian-speaking patients with age-related macular degeneration [J]. *Clin Exp Optom*, 2021, 104(2): 194-200. doi: 10.1111/cxo.13132
- [33] Jeong JH, Moon NJ. A study of eccentric viewing training for low vision rehabilitation [J]. *Korean J Ophthalmol*, 2011, 25(6): 409-416. doi: 10.3341/kjo.2011.25.6.409
- [34] Farzaneh A, Riazzi A, Falavarjani KG, et al. Evaluating reading performance in different preferred retinal loci in Persian-speaking patients with age-related macular degeneration [J]. *J Curr Ophthalmol*, 2021, 33(1): 48-55. doi: 10.4103/JOCO.JOCO_192_20
- [35] Tarita-Nistor L, Eizenman M, Landon-Brace N, et al. Identifying absolute preferred retinal locations during binocular viewing [J]. *Optom Vis Sci*, 2015, 92(8): 863-872. doi: 10.1097/OPX.0000000000000641
- [36] Schönbach EM, Strauss RW, Kong X, et al. Longitudinal changes of fixation location and stability within 12 months in stargardt disease: progstar report No. 12 [J]. *Am J Ophthalmol*, 2018, 193: 54-61. doi: 10.1016/j.ajo.2018.06.003
- [37] Tarita-Nistor L, Mandelcorn MS, Mandelcorn ED, et al. Effect of disease progression on the PRL location in patients with bilateral central vision loss [J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2020, 9(8): 47. doi: 10.1167/tvst.9.8.47
- [38] Ehrlich JR, Stagg BC, Andrews C, et al. Vision impairment and receipt of eye care among older adults in low- and middle-income countries [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2019, 137(2): 146-158. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2018.5449
- [39] Bozkurt Oflaz A, Turgut Öztürk B, Gönül Ş, et al. Short-term clinical results of preferred retinal locus training [J]. *Turk J Ophthalmol*, 2022, 52(1): 14-22. doi: 10.4274/tjo.galenos.2021.73368
- [40] Pyatova Y, Daibert-Nido M, Markowitz SN. Long term outcomes in dry age-related macular degeneration following low vision rehabilitation interventions [J]. *Eur J Ophthalmol*, 2022, 32(1): 296-299. doi: 10.1177/1120672120973621
- [41] Man REK, Gan ATL, Fenwick EK, et al. Impact of incident age-related macular degeneration and associated vision loss on vision-related quality of life [J]. *Br J Ophthalmol*, 2022, 106(8): 1063-1068. doi: 10.1136/bjophthalmol-2020-318269
- [42] Macnamara A, Chen C, Schinazi VR, et al. Simulating macular degeneration to investigate activities of daily living: a systematic review [J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 663062. doi: 10.3389/fnins.2021.663062
- [43] Ramírez Estudillo JA, León Higuera MI, Rojas Juárez S, et al. Visual rehabilitation via microperimetry in patients with geographic atrophy: a pilot study [J]. *Int J Retina Vitreous*, 2017, 3: 21. doi: 10.1186/s40942-017-0071-1
- [44] Scuderi G, Verboschi F, Domanico D, et al. Fixation improvement through biofeedback rehabilitation in stargardt disease [J]. *Case Rep Med*, 2016: 4264829. doi: 10.1155/2016/4264829
- [45] Morales MU, Saker S, Amoaku WM. Bilateral eccentric

- vision training on pseudovitelliform dystrophy with microperimetry biofeedback [J]. *BMJ Case Rep*, 2015; bcr2014207969. doi: 10.1136/bcr-2014-207969
- [46] Tarita-Nistor L, González EG, Markowitz SN, et al. Plasticity of fixation in patients with central vision loss[J]. *Vis Neurosci*, 2009, 26 (5/6): 487-494. doi: 10.1017/S0952523809990265
- [47] Sahli E, Altinbay D, Bingol Kiziltunc P, et al. Effectiveness of low vision rehabilitation using microperimetric acoustic biofeedback training in patients with central scotoma[J]. *Curr Eye Res*, 2021, 46 (5): 731-738. doi: 10.1080/02713683.2020.1833348
- [48] Li S, Deng X, Chen Q, et al. Characteristics of preferred retinal locus in eyes with central vision loss secondary to different macular lesions[J]. *Semin Ophthalmol*, 2021, 36(8): 734-741. doi: 10.1080/08820538.2021.1900289
- [49] Morales MU, Saker S, Wilde C, et al. Biofeedback fixation training method for improving eccentric vision in patients with loss of foveal function secondary to different maculopathies[J]. *Int Ophthalmol*, 2020, 40(2): 305-312. doi: 10.1007/s10792-019-01180-y
- [50] Altinbay D, İdil ŞA. Fixation stability and preferred retinal locus in advanced age-related macular degeneration [J]. *Turk J Ophthalmol*, 2022, 52(1): 23-29. doi: 10.4274/tjo.galenos.2021.27985
- [51] Qian T, Xu X, Liu X, et al. Efficacy of MP-3 microperimeter biofeedback fixation training for low vision rehabilitation in patients with maculopathy[J]. *BMC Ophthalmol*, 2022, 22(1): 197. doi: 10.1186/s12886-022-02419-6
- [52] Melillo P, Prinster A, Di Iorio V, et al. Biofeedback rehabilitation and visual cortex response in stargardt's disease: a randomized controlled trial[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2020, 9(6): 6. doi: 10.1167/tvst.9.6.6
- [53] Barboni MTS, Récsán Z, Szepessy Z, et al. Preliminary findings on the optimization of visual performance in patients with age-related macular degeneration using biofeedback training[J]. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 2019, 44(1): 61-70. doi: 10.1007/s10484-018-9423-3
- [54] Chung STL. Training to improve temporal processing of letters benefits reading speed for people with central vision loss[J]. *J Vis*, 2021, 21(1): 14. doi: 10.1167/jov.21.1.14

(编辑:曾婕)